栗山天牛幼虫龄数和龄期的测定

王小艺[1]，杨忠岐[1,*]，唐艳龙[1]，姜 静[1]，杨远亮[1]，高 纯[2]
（1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所，国家林业局森林保护学重点实验室，北京 100091；
2. 辽宁省宽甸县森林病虫防治检疫站，辽宁丹东 118200）

摘要：栗山天牛 *Massicus raddei*（Blessig）是危害我国东北柞树天然林的重要蛀干害虫，长期营隐蔽性生活，3 年发生 1 代，防治困难。幼虫的龄数和龄期测定是害虫预测预报以及制订其科学治理策略的重要依据。本研究于 2008 – 2011 年通过林间定期解剖受害树进行取样，在辽宁省宽甸县采集不同发育阶段的栗山天牛幼虫，分别测量幼虫上颚长、主单眼间距、前胸背板宽、中胸气门长和体长等 5 项形态指标，利用频次分析的统计方法，测定了栗山天牛幼虫的龄数。结果表明：栗山天牛幼虫有 6 龄，雌雄性幼虫龄数相同。上颚长、主单眼间距和前胸背板宽 3 项指标均可用于分龄，中胸气门长和体长变异较大，不宜用作幼虫龄数划分。利用种群众数龄期法计算 1 – 6 龄幼虫的平均龄期分别为 9.25, 266.85, 48.09, 51.29, 260.33 和 385.71 d，幼虫期共 1 021.52 d。在我国东北地区，自然条件下栗山天牛世代发生非常整齐而且高度同步，完成 1 代发育需跨越 4 个年份，幼虫经历 3 次越冬，第 1 年以 2 – 3 龄幼虫越冬，第 2 年主要以 4 – 5 龄幼虫越冬，第 3 年全部以末龄幼虫越冬。研究结果进一步明确了栗山天牛幼虫期的生物学特性，为生产上合理防治该害虫提供了参考依据。

关键词：栗山天牛；幼虫；形态特征；龄数；龄期；Dyar 氏法则；种群同步性
中图分类号：S763.301 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2012)05-0575-10

Determination of larval instar number and duration in the oak longhorn beetle, *Massicus raddei* (Coleoptera: Cerambycidae)

WANG Xiao-Yi[1], YANG Zhong-Qi[1,*], TANG Yan-Long[1], JIANG Jing[1], YANG Yuan-Liang[1], GAO Chun[2] (1. Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Forest Pest Control and Quarantine Station of Kuandian County, Dandong, Liaoning 118200, China)

Abstract: The oak longhorn beetle, *Massicus raddei* (Blessig) (Coleoptera: Cerambycidae) is an important wood borer pest in natural oak forests (*Quercus* spp.) in northeastern China. This beetle takes 3 years to complete one generation and is difficult to be controlled due to a highly concealed life history in its larval and pupal stages. Determination of larval instar number and duration is the important foundation for the insect pest forecasting and the scientific management. The number of larval instars was determined using statistical method of frequency analysis through sampling periodically by dissecting infestation trees at Kuandian County, Liaoning Province during 2008 – 2011, during which the oak longhorn beetle larvae at different developmental stages in forests were collected and five morphological variables of the longhorn beetle larvae, including length of mandible, distance between main ocelli, width of the prothoracic plate, length of the mesothoracic spiracle, and body length, were measured under binocular microscope with an eyepiece micrometer. The results showed that the larvae of oak longhorn beetle have 6 instars without difference between male and female. The three variables including mandible length, distance between main ocelli and width of the prothoracic plate can be used for the separation of larval instars as the sclerotized structures, while length of the mesothoracic spiracle and body length were not reliable due to high variation. The average duration of 1 – 6 instars measured by the method of median population stadia in fields were 9.25, 266.85, 48.09, 51.29, 260.33 and 385.71 d, respectively. The total larval stage duration was over 1 021.52 d in fields. In northeastern China, the occurrence of oak longhorn beetle was very uniform and the development of population was highly synchronous in natural conditions. The larvae

基金项目：国家自然科学基金项目(30972377)；国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAD08A12)
作者简介：王小艺，男，1974 年生，博士，研究员，研究方向为害虫生物防治，E-mail: xywang@caf.ac.cn
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: yzhqi@caf.ac.cn
收稿日期 Received: 2011-12-09；接受日期 Accepted: 2012-03-25

of the oak longhorn beetle need to undergo 3 winters to complete one generation. In the first year larvae overwinter as 2nd – 3rd instar stage, the next year the 4th – 5th instar larvae overwinter and the third winter all larvae enter the full-grown larval stage. These findings further reveal the larval biology of the oak longhorn beetle and provide valuable information for the rational control of the pest in practice.

Key words: *Massicus raddei*; larva; morphological characters; instar number; instar duration; Dyar's rule; population synchrony

昆虫幼虫的龄数和龄期观察是昆虫生物学特别是幼虫期蜕皮与生长发育的重要研究内容(彩万志等, 2011)。栗山天牛 *Massicus raddei* (Blessig)属鞘翅目天牛科(Coleoptera: Cerambycidae), 天牛亚科(Cerambycinae)山天牛属, 我国大多数省份均有分布(陈世骧等, 1959), 是栎类 *Quercus* spp. 树木的重要蛀干害虫(季长龙等, 1995; 蔡元才等, 1999; 王忠友, 1999)。该虫生活历期长, 在我国东北 3 年发生 1 代, 跨越 4 个年份, 防治极为困难(孙永平, 2001; 唐艳龙等, 2010)。由于栗山天牛幼虫长期在树干中隐蔽性生活和危害, 因此其生活习性很难观察, 对其幼虫的龄数和龄期也很难确定。通过人工饲养幼虫观察龄期和龄数由于生活环境的改变, 其蜕皮次数变化较大, 不能准确反映实际的龄数。在利用天敌昆虫开展生物防治的过程中, 需要根据天牛幼虫的不同发育阶段即不同的寄主龄期释放不同的天敌(王小艺等, 2010; 唐艳龙等, 2010; 杨忠岐等, 2012), 因此对栗山天牛幼虫龄期的准确判断是非常必要的。本研究旨在通过林间调查结合数理分析的方法, 测定在自然条件下栗山天牛幼虫的龄数和各龄龄期, 为进一步明确栗山天牛的生物学特性及生产上科学防治该害虫提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 样点描述

栗山天牛幼虫于 2008 – 2011 年采自辽宁省宽甸县大西岔镇白菜地村岭上试验林区, 40°44.838′ N, 125°11.616′ E, 海拔 486.6 m。选择一块面积约 65 hm^2 标准试验样地作为定点调查试验林, 树种为辽东栎 *Quercus liaotungensis*, 树龄 30 ~ 70 年, 平均 60 年左右, 树木密度约 630 株/hm^2, 栎树的平均胸径约为 30 cm。

1.2 取样方法

为确保采集到 1 龄幼虫, 2008 年 8 月在栗山天牛成虫产卵期内采集 200 多粒卵, 于室内保湿培养, 待其自然孵化后, 测量 50 头初孵幼虫(1 日龄)的上述各项指标参数。自栗山天牛幼虫孵化时起, 定期每次从林间采集 50 头左右幼虫, 投入 75% 乙醇中保存, 贴上标签, 注明采集日期。如在采集过程中发现正在蜕皮或刚蜕完皮的幼虫个体, 则单头保存, 方法同上, 供分龄时参考。第 1 年(2008 年) 10 ~ 15 d 取样一次, 进入越冬期后不必取样, 第 2 年(2009 年)起在生长季节每月取样一次。将幼虫带回室内逐一测量上述各项指标, 直到全部完成化蛹为止(2011 年 6 月中旬)。

1.3 幼虫分龄特征

栗山天牛幼虫形态特征描述参考蒋书楠(1989)。选取天牛幼虫身体骨化程度较高的部位作为分龄形态指标: (1)体长(Y_1: 从口器至腹末的长度); (2)中胸气门长(Y_2: 中胸从背面观的右侧气门); (3)前胸背板宽(Y_3: 测量前胸背板骨化部分的后缘宽, 不包括翼瓣); (4)单眼间距(Y_4: 从腹面测量 2 组主单眼外缘之间的距离); (5)上颚长(Y_5: 从背面观的右上颚, 测量时从腹面进行)(图 1)。前 4 项指标用带测微尺的 Zeiss Stemi 2000-C 解剖镜下进行测量, 低龄幼虫在目镜 10 倍、物镜 5 倍条件下测量, 高龄幼虫在目镜 10 倍、物镜 0.65 倍条件下测量(当幼虫前胸背板宽超过测微尺最大范围时换用低倍物镜测量, 实际从 2009 年 7 月 30 日采集的幼虫起)。体长用普通不锈钢直尺进行测量, 精度为 0.5 mm。测量体长参数是为生产上林间实际调查中便于快速判断害虫的大致发育进度。

1.4 老熟幼虫雌雄分龄指标的测量

为明确栗山天牛雌雄性之间幼虫龄数是否不同, 在 2011 年 5 月上旬栗山天牛临化蛹前采集 69 头老熟幼虫, 单头放入玻璃试管中, 标上序号。先按上述方法测量并记录下每头试虫的各项指标, 然后将试虫放在实验室常温下观察。待幼虫化蛹后记录每头的雌雄性别, 根据触角长短很容易区分, 触角明显比身体长的为雄性, 触角比虫体短或与虫体等长的为雌性(孙永平, 2001), 再分别统计分析雌性和雄性各分龄指标是否存在显著差异。

1.5 数据处理与分析

本研究所有数据的统计分析均采用 SAS

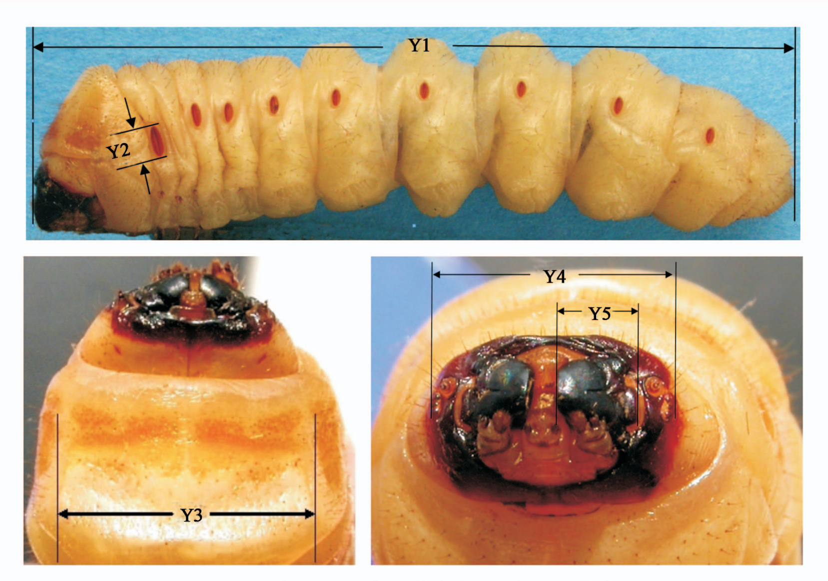


图 1　栗山天牛幼虫分龄的 5 个测量指标

Fig. 1　The 5 variables measured for separating instars of larval *Massicus raddei*

Y_1：体长 Body length；Y_2：中胸气门长 Length of the mesothoracic spiracle；Y_3：前胸背板宽 Prothoracic plate width；Y_4：单眼间距 Distance between main ocelli；Y_5：上颚长 Mandible length.

(Version 9.1.3)软件包进行(陈子星和徐夕水，1997；SAS Institute Inc.，2006)。对测定的各项指标值分别进行频数分布分析，并绘制每项指标相应的频数分布图，以此确定幼虫的龄数。龄数划分后，再根据测定值计算各龄幼虫上述指标的均值、标准误差、变异系数、生长率指数、Crosby 指数等，以确定最佳分龄指标和龄数划分的标准。变异系数小于 20%、Crosby 指数小于 10% 表示分龄准确，符合统计上的要求，生长率和 Crosby 指数按如下公式计算。并用回归分析方法拟合栗山天牛幼虫各龄测量指标与龄数之间的关系。各龄幼虫指标之间的差异统计采用 Tukey 氏检验的多重比较法进行，雌雄之间的指标差异采用 *t* 检验法。幼虫种群众数龄期的测定参考戴志一(1980)方法，以不同日期各龄幼虫的数量计算其相对应的累积百分率，将百分率转换为机率值，拟合发育时间与百分率机率值之间的数学关系，比较相邻 2 个龄期间幼虫累积百分率为 50% 时的日期差值即为前一虫龄的众数龄期。

$$G_n = \frac{\bar{x}_m}{\bar{x}_{n-1}}$$

$$C_n(\%) = \frac{G_n - G_{n-1}}{G_{n-1}} \times 100$$

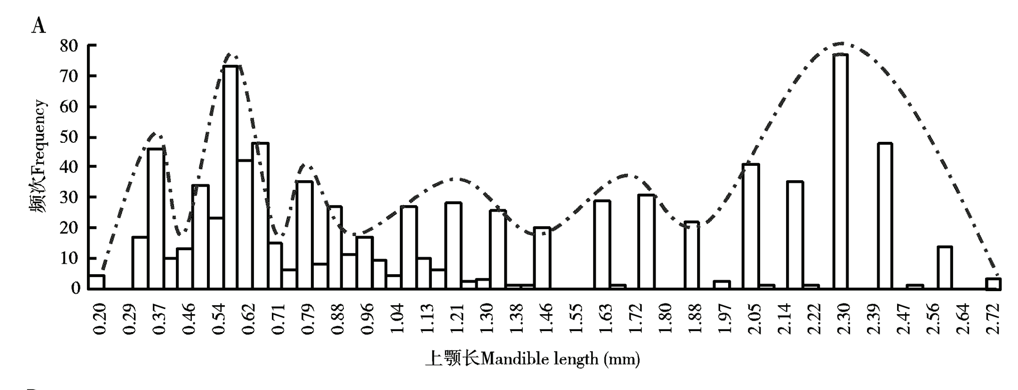
式中：G 为生长率(growth rate)，即 Dyar 氏指数，也称 Brooks 指数(McDonald *et al.*，1977；Loerch and Cameron，1983)。x_n 和 x_{n-1} 为相邻两龄幼虫分龄指标的平均值。C_n 为 Crosby 指数，G_n 和 G_{n-1} 为相邻两龄幼虫的生长率。

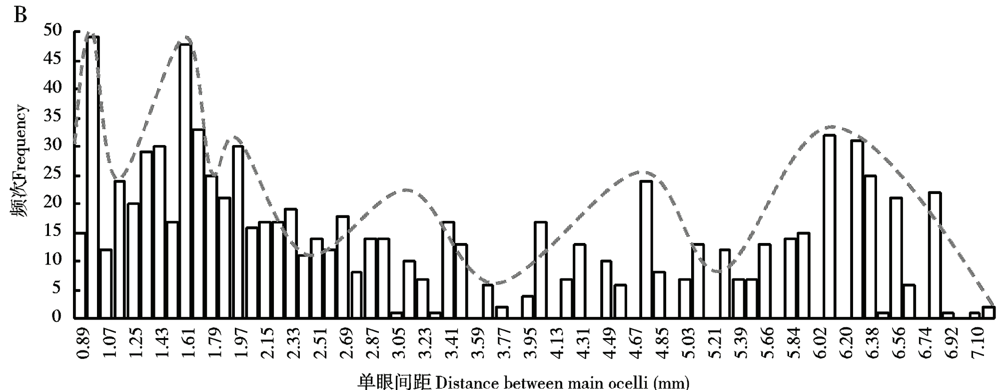
2　结果与分析

2.1　栗山天牛幼虫的龄数

由于首先采集了栗山天牛的卵进行室内培养，从而确保测量到了足够数量的 1 龄幼虫。根据对 980 头栗山天牛幼虫 5 项指标的测定结果，分别对骨化程度相对较高的中胸气门长(Y_2)、前胸背板宽(Y_3)、单眼间距(Y_4)和上颚长(Y_5)等 4 项指标的测量值进行了频次分布的统计分析，结果表明，上颚长度的频次分布明显具有 6 个峰值(图 2：A)，分别在 0.38，0.58，0.79，1.21，1.72 和 2.30 mm 左右。单眼间距和前胸背板宽的频次分布也明显具有 6 个峰值(图 2：B，C)。由此，根据 Dyar 氏法则可以断定，栗山天牛幼虫的龄数为 6 龄。

上颚长、单眼间距和前胸背板宽这 3 项指标在栗山天牛幼虫龄数划分时重叠度相对较小，是比较理想的分龄指标。而中胸气门长和体长变异度较大，不宜用于幼虫龄数的划分。各龄幼虫 5 项指标的实测均值、标准误差、变化幅度、变异系数见表 1。各项指标在不同龄数之间的平均值具有显著差异，上颚长、单眼间距和前胸背板宽这 3 项分龄指标的变异系数均小于 20%，生长率在 1.3～1.5 之间，符合统计上的要求。上颚长和主单眼间距 2 项指标的 Crosby 指数均小于 10%，表明将栗山天牛幼虫划分为 6 个龄期是合理的。





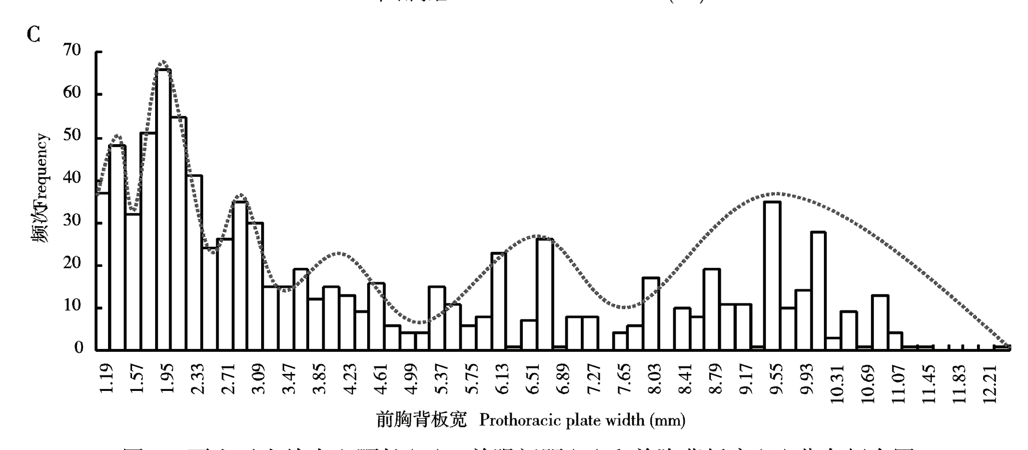


图 2　栗山天牛幼虫上颚长(A)、单眼间距(B)和前胸背板宽(C)分布频次图

Fig. 2　Frequency distribution of the mandible length (A), distance between main ocelli (B) and prothoracic plate width (C) in *Massicus raddei* larvae

2.2　栗山天牛幼虫各龄测量指标与龄数之间的关系拟合

对栗山天牛幼虫各项分龄指标的实测平均值与龄数之间的关系进行回归分析，结果显示，5 项指标(Y_i)与龄数(x)之间均符合 Dyar 氏法则所描述的指数关系。经统计检验，回归曲线均达到了极显著水平(表 2)。进一步表明栗山天牛幼虫龄数划分为 6 龄是准确的。

2.3　栗山天牛老熟幼虫雌雄性之间分龄指标的差异

为明确栗山天牛雌雄两性幼虫龄数是否存在差异，对栗山天牛末龄幼虫分雌雄对各项分龄指标分别进行了测量，共采集老熟幼虫 69 头，其中培养到可鉴定性别的雄性蛹 26 头，雌性蛹 30 头，死亡 13 头。测量结果显示，雌性幼虫的各项指标平均值均略大于雄性，但差异未达到显著水平，而且各项指标的最大值均在雄性个体内(表 3)。表明栗山天牛幼虫雌雄性之间的龄数相同。

2.4　栗山天牛幼虫各龄龄期

确定了栗山天牛幼虫的龄数后，进一步统计不同日期各龄幼虫的数量及其相对应的累积百分率，将百分率转换为机率值(y)后与调查日期作线性回

归分析，卵孵化与幼虫第 1 次蜕皮进度的回归直线机率值中值所对应的调查日期之差即为 1 龄的众数龄期，依此类推，可以求得其他各龄幼虫的龄期（表 4）。1－6 龄幼虫的龄期分别为 9.25，266.85，48.09，51.29，260.33 和 385.71 d，幼虫期共 1 021.52 d。

表 1　栗山天牛幼虫分龄的各项指标测量值结果

Table 1　Results of examination of the six variables separating larval instars of *Massicus raddei*

指标 Variable	龄数 Instar	实测幼虫数 Number of larvae measured	均值 ± *SE* Mean ± *SE*	变幅(mm) Range	变异系数(%) *CV*	生长率 Growth rate	Crosby 指数 Crosby's ratio	统计参数 Statistical parameters
	1	131	4.5896 ± 0.0839 f	1.97 – 8.00	20.9229			
	2	204	7.4596 ± 0.1317 e	3.50 – 12.60	25.2167	1.6253		
	3	129	11.3558 ± 0.2298 d	4.50 – 18.50	22.9797	1.5223	– 6.34	$df = 5, 955$
Y_1	4	107	17.8411 ± 0.4110 c	9.50 – 28.00	23.8318	1.5711	3.21	$F = 3\ 321.01$
	5	112	29.0714 ± 0.4727 b	15.00 – 42.00	17.2065	1.6295	3.71	$P < 0.0001$
	6	278	50.7950 ± 0.4062 a	30.00 – 69.00	13.3342	1.7473	7.23	
	1	131	0.0729 ± 0.0015 f	0.04 – 0.12	23.2345			
	2	210	0.1776 ± 0.0033 e	0.10 – 0.30	27.2088	2.4362		
	3	131	0.3072 ± 0.0074 d	0.16 – 0.62	27.4246	1.7297	– 29.00	$df = 5, 974$
Y_2	4	112	0.6048 ± 0.0122 c	0.36 – 1.09	21.4147	1.9688	13.82	$F = 4\ 018.66$
	5	114	0.9997 ± 0.0150 b	0.60 – 1.37	16.0690	1.6529	– 16.04	$P < 0.0001$
	6	282	1.6552 ± 0.0128 a	1.09 – 2.19	12.9578	1.6557	0.17	
	1	131	1.3473 ± 0.0077 f	1.07 – 1.51	6.5475			
	2	209	1.9219 ± 0.0185 e	1.31 – 2.72	13.9262	1.4265		
	3	131	2.6068 ± 0.0324 d	1.91 – 3.69	14.2398	1.3564	– 4.92	$df = 5, 970$
Y_3	4	112	4.0327 ± 0.0567 c	2.82 – 5.47	14.8831	1.5470	14.05	$F = 5\ 532.33$
	5	114	6.1733 ± 0.0622 b	4.38 – 7.39	10.7516	1.5308	– 1.05	$P < 0.0001$
	6	279	9.4657 ± 0.0553 a	6.57 – 12.45	9.7495	1.5333	0.16	
	1	131	0.9897 ± 0.0054 f	0.81 – 1.13	6.2968			
	2	206	1.4643 ± 0.0142 e	0.97 – 2.22	13.8899	1.4795		
	3	131	2.0105 ± 0.0234 d	1.47 – 2.72	13.3310	1.3730	– 7.20	$df = 5, 970$
Y_4	4	112	3.0213 ± 0.0368 c	2.32 – 4.38	12.9036	1.5028	9.45	$F = 7\ 192.79$
	5	112	4.5095 ± 0.0429 b	3.42 – 5.47	10.0572	1.4926	– 0.68	$P < 0.0001$
	6	284	6.2535 ± 0.0266 a	5.06 – 7.25	7.1554	1.3867	– 7.09	
	1	131	0.3770 ± 0.0032 f	0.22 – 0.48	9.7986			
	2	209	0.5750 ± 0.0048 e	0.40 – 0.81	11.9554	1.5252		
	3	131	0.7926 ± 0.0076 d	0.60 – 0.97	10.9977	1.3784	– 9.62	$df = 5, 974$
Y_5	4	112	1.1840 ± 0.0133 c	0.81 – 1.37	11.9096	1.4938	8.37	$F = 7\ 079.51$
	5	113	1.7376 ± 0.0165 b	1.37 – 2.05	10.0824	1.4676	– 1.76	$P < 0.0001$
	6	284	2.3340 ± 0.0101 a	1.78 – 2.74	7.3014	1.3432	– 8.47	

Y_1：体长 Body length；Y_2：中胸气门长 Length of the mesothoracic spiracle；Y_3：前胸背板宽 Prothoracic plate width；Y_4：单眼间距 Distance between main ocelli；Y_5：上颚长 Mandible length. 表中同一栏内平均值数据后不同字母表示经多重比较（Tukey 氏检验）在 5% 水平上具有显著差异。The different letters following mean values within variables show significant differences between instars based on Tukey's test at the 5% level.

表 2 栗山天牛幼虫各龄测量指标与龄数之间的关系拟合结果

Table 2 Regression relationship between number of larval instars and measured variables of *Massicus raddei*

分龄指标 Variables	回归方程 Regression equation	相关系数 r Correlation coefficient	统计参数 Statistical parameters
体长 Body length (Y_1)	$Y_1 = e^{1.03509+0.47293x}$	0.9990	$df=1,4$, $F=2\ 049.80$, $P<0.0001$
中胸气门长 Mesothoracic spiracle length (Y_2)	$Y_2 = e^{-3.06847+0.61355x}$	0.9950	$df=1,4$, $F=398.34$, $P<0.0001$
前胸背板宽 Prothoracic plate width (Y_3)	$Y_3 = e^{-0.13985+0.39100x}$	0.9980	$df=1,4$, $F=1\ 010.42$, $P<0.0001$
单眼间距 Distance between main ocelli (Y_4)	$Y_4 = e^{-0.38085+0.37141x}$	0.9994	$df=1,4$, $F=3\ 561.03$, $P<0.0001$
上颚长 Mandible length (Y_5)	$Y_5 = e^{-1.31550+0.36670x}$	0.9990	$df=1,4$, $F=2\ 000.11$, $P<0.0001$

x: 幼虫龄数(1-6 龄) Larval instar number (1-6 instars).

表 3 栗山天牛老熟幼虫雌雄分龄指标的测量值

Table 3 Measurements of variables between males and females of *Massicus raddei* full-grown larvae

性别 Sex	体长(mm) Body length	中胸气门长(mm) Length of the mesothoracic spiracle	前胸背板宽(mm) Prothoracic plate width	单眼间距(mm) Distance between main ocelli	上颚长(mm) Mandible length
雄性 Male ♂	52.80 ± 0.83 a (43-60)	1.76 ± 0.039 a (1.37-2.19)	9.48 ± 0.14 a (7.80-10.94)	6.40 ± 0.066 a (5.47-7.11)	2.40 ± 0.030 a (2.05-2.74)
雌性 Female ♀	54.15 ± 0.47 a (50-58)	1.81 ± 0.031 a (1.50-2.05)	9.58 ± 0.089 a (8.89-10.67)	6.52 ± 0.042 a (6.02-6.84)	2.44 ± 0.017 a (2.33-2.60)
统计参数 Statistical parameters	$df=49$, $t=-1.44$, $P=0.1575$	$df=52$, $t=-0.95$, $P=0.3456$	$df=49$, $t=-0.60$, $P=0.5488$	$df=54$, $t=-1.54$, $P=0.1284$	$df=54$, $t=-0.93$, $P=0.3558$

表 4 栗山天牛各龄幼虫的龄期

Table 4 Stadia of *Massicus raddei* larvae

发育进度 Degree of development	回归方程 Regression equation $y=a+bx$	相关系数 r Correlation coefficient	F 值 F value	显著水平 P Significance level	发育中值 Median development value	95% 置信限 95% Confidence limit	众数龄期(d) Population median stadium
卵的孵化 Hatch of eggs	$y_1 = 3.67048 + 0.0799x$	0.9944	350.71	<0.0001	16.63	14.70-18.54	$L_1 = 9.25$
第 1 次蜕皮 1st molt	$y_2 = 3.85371 + 0.04429x$	0.9969	319.25	0.0031	25.88	15.39-36.38	$L_2 = 266.85$
第 2 次蜕皮 2nd molt	$y_3 = -4.89411 + 0.03380x$	0.9857	102.90	0.0020	292.73	273.46-311.97	$L_3 = 48.09$
第 3 次蜕皮 3rd molt	$y_4 = -9.80202 + 0.04343x$	0.9974	576.38	0.0002	340.82	334.17-347.52	$L_4 = 51.29$
第 4 次蜕皮 4th molt	$y_5 = -11.2333 + 0.04140x$	0.9946	182.82	0.0054	392.11	380.67-403.49	$L_5 = 260.33$
第 5 次蜕皮 5th molt	$y_6 = 0.14588 + 0.00744x$	0.9574	22.00	0.0426	652.44	383.27-921.00	$L_6 = 385.71$
化蛹 Pupation	$y_7 = -131.58896 + 0.13157x$	0.9976	419.85	0.0024	1 038.15	1 035.44-1 040.85	$L = 1\ 021.52$

为便于计算，令 2008 年 8 月 1 日等于 1。For calculation convenience, the variable x was pointed as 1 on August 1, 2008. y_1: 卵的孵化率 The hatching rate of eggs; y_2-y_6: 幼虫第 1-5 次蜕皮进度 The developmental progress of the 1st-5th molt of larvae, respectively; y_7: 化蛹进度 The pupation progress. 以上各值均转换为机率值。All these variables were transformed into probit values. L_1-L_6: 1-6 龄幼虫的龄期 1st-6th instar larval stage duration, respectively; L: 整个幼虫期 Whole larval stage duration in days.

2.5　栗山天牛幼虫每年越冬的龄期组成及比例

在本研究调查的 4 年期间，3 次越冬时间分别在 2008 年 9 月上旬至 2009 年 5 月上旬、2009 年 9 月下旬至 2010 年 5 月上旬、2010 年 9 月下旬至 2011 年 5 月上旬(表 5)。栗山天牛卵 2008 年 7 月下旬开始孵化成 1 龄幼虫，在辽宁省宽甸县大西岔镇，栗山天牛第 1 年主要以 2 ~ 3 龄幼虫越冬，第 2 年主要以 4 ~ 5 龄幼虫越冬，第 3 年绝大多数以末龄老熟幼虫(6 龄)越冬(表 5)。每年根据气温的变化情况有所不同，不同年份之间差异可达半个月，如 2008 年越冬较早，2011 年越冬较晚。另外，据调查，栗山天牛幼虫第 1 年均在柞树韧皮部或形成层取食，第 2 年开始逐渐蛀入木质部，如 2009 年 6 月 30 日调查有约 5% 的幼虫蛀入木质部取食，2009 年 7 月 30 日调查，约有 46.3% 的栗山天牛幼虫已蛀入木质部取食。2009 年 8 月 31 日调查 95.1% 的栗山天牛幼虫已蛀入木质部取食，2009 年 9 月 27 日调查均已进入木质部取食危害。

表 5　栗山天牛幼虫每年越冬时期及龄数组成

Table 5　The overwintering period of *Massicus raddei* larvae and their instars in each year

越冬次数 Overwintering times	越冬期 Overwintering period	虫龄及比例 Larval instars and their proportion
第 1 次 1st time	2008 年 9 月上旬 – 2009 年 5 月上旬 Early Sept. 2008 – early May 2009	2 龄 2nd instar (88.24%); 3 龄 3rd instar (11.76%)
第 2 次 2nd time	2009 年 9 月下旬 – 2010 年 5 月上旬 Late Sept. 2009 – early May 2010	3 龄 3rd instar (1.09%); 4 龄 4th instar (34.78%); 5 龄 5th instar (63.04%); 6 龄 6th instar (1.09%)
第 3 次 3rd time	2010 年 9 月下旬 – 2011 年 5 月上旬 Late Sept. 2010 – early May 2011	5 龄 5th instar (0.78%); 6 龄 6th instar (99.22%)

3　讨论

3.1　天牛幼虫龄数的变异与 Dyar 氏法则

国内外一些研究者报道了不同种类和不同条件下测量的天牛幼虫龄数，结果不尽相同。自然条件下，眉斑并脊天牛 *Glenea cantor* (Fabricius)幼虫为 4 龄(赖开平等，2008)，桃红颈天牛 *Aromia bungii* (Faldermann)(刘彬声，1982)、云杉小黑天牛 *Monochamus sutor* (L.)(邵景文等，1991)、栎黑天牛 *Cerambyx cerdo* var. *mirbecki* (Lucas)(El-Antry，1999)、北美断条黑天牛 *Plectrodera scalator* (Fabricius)(Forschler and Nordin，1991)等种类的幼虫龄数均为 5 龄。瓜藤天牛 *Apomecyna saltator* Fabricius 幼虫有 6 龄(Sontakke，2002)，锦天牛 *Acalolepta vastator* (Newman)幼虫为 9 龄(Goodwin and Pettit，1994)。人工饲养条件下马库白星天牛 *Anoplophora macularia* (Thomson)雄性有 6 ~ 10 个龄期，雌性有 6 ~ 9 个龄期(Lee and Lo，1998)。人工饲养条件下桑天牛 *Apriona germari* Hope 幼虫有 12 个龄期(Yoon *et al.*，1997)。甚至同一种天牛不同条件下或不同研究者测定的结果也存在较大差异。如 Visitpanich(1994)根据头壳宽度将咖啡灭字虎天牛 *Xylotrechus quadripes* Chevrolat 幼虫分为 6 龄，Seetharama 等(2005)也是根据头壳宽度将咖啡灭字虎天牛幼虫分为 5 龄。杜宝善和刘春梅(1986)报道黄斑星天牛 *Anoplophora nobilis* Ganglbauer [即光肩星天牛 *A. glabripennis* (Motschulsky)]幼虫分 4 龄，贺萍和黄竞芳(1992)测定光肩星天牛幼虫为 5 龄，李孟楼等(1989)和 Keena 和 Moore(2010)分别测定的光肩星天牛幼虫龄数为 9 龄。本研究测定的栗山天牛幼虫为 6 龄，虽然孙永平(2001)曾提到栗山天牛幼虫有 6 龄，但未描述其研究方法，用于分龄的指标是幼虫体长。昆虫幼虫的体长由于变异较大，一般不宜用于作为龄数划分的指标和依据。但在生产实践上体长是一个最简易方便的参数，利于基层工作者根据害虫不同发育阶段采取不同的防治策略，因此本研究也测量了幼虫体长供生产上参考。正常情况下，绝大多数昆虫幼虫期的生长是不连续的，伴随着周期性的蜕皮而跳跃式地增长。每次蜕皮后骨化部分尚未硬化前有一个快速生长过程，随后在同一龄期内生长趋于缓慢，至下次蜕皮前几乎停止生长(北京农业大学，1980)。Dyar(1890)发现鳞翅目昆虫相邻龄期幼虫的头壳宽度存在一定的几何级数关系，称作 Dyar 氏法则(彩万志等，2011)。但并不是所有昆虫的生长发育都符

合 Dyar 氏法则(Taylor, 1931; Sephton and Hynes, 1982), Jaya 等(2000)报道红棕象甲 *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver 幼虫的发育不符合 Dyar 氏法则，其头宽的对数值与龄数呈曲线关系而不是直线，可能是其幼虫早期的生长率较高所造成的。本研究中栗山天牛幼虫的生长发育虽然大致上符合 Dyar 氏法则，但相邻龄期之间指标的重叠度较大，而且在测量过程中发现，同一龄期内幼虫的各项指标均表现出明显的连续增长趋势，因此导致有些骨化程度不高的分龄指标适合度欠佳。

3.2 影响昆虫幼虫龄数的因素

理论上，投资法则意味着昆虫必然存在一个最适宜的幼虫龄数，每一龄也有一个最适宜的龄期。但实际上很多因素对昆虫的龄数、龄期和生长率产生重要的影响(Hutchinson *et al*., 1997)，昆虫幼虫期的生长发育受到温度、光照、食物供给、幼虫密度、物理损伤等因素的影响。Sáenz-de-Cabezón Irigaray 等(2006)发现温度对葡萄花翅小卷蛾 *Lobesia botrana* (Denis and Schiffermüller)幼虫的头宽值具有显著影响，温度越高，头宽值越小，温度越低，头宽值越大，但未影响其龄数和生长率。阿根廷茎象甲 *Listronotus bonariensis* (Kuschel)幼虫的头宽值在不同季节和不同世代变化较大(Goldson *et al*., 2001)。Shintani 等(1996)报道光周期影响到黄星天牛 *Psacothea hilaris* (Pascoe) 幼虫发育的龄数。Calvo 和 Molina(2008)发现取食不同寄主植物的一种枯叶蛾 *Streblote panda* Hübner 幼虫的龄数也不同。Verdinelli 和 Sanna-Passino(2003)报道取食不同寄主植物的一种天幕毛虫 *Malacosoma neustrium* (L.)幼虫的龄数也不同。另外，饥饿、被寄生等生存条件恶劣的情况下幼虫也可能提前蜕皮和非正常蜕皮，从而造成蜕皮次数比自然状态下多。Safranek 和 Williams(1984)指出，实际上昆虫的蜕皮是受激素控制的，不完全是因为旧表皮的限制。如烟草天蛾 *Manduca sexta* L. 幼虫在营养不良的条件下可以在任何体重时启动蜕皮，甚至在某一龄期内体重没有任何增加时也会蜕皮。此外，同种昆虫的两性间幼虫龄数也可能不同(北京农业大学, 1980; 范丽清, 2008)。本研究在取样过程中，部分标本特别是早期低龄幼虫采集后用酒精浸泡保存，后来在高龄幼虫期多采用活体测量，这可能在一定程度上会影响到一些测量指标的绝对值。

3.3 栗山天牛幼虫期发育的特殊性

调查测定过程中发现，栗山天牛幼虫同一龄期内也明显会连续增长，且蜕皮时的个体大小也不尽一致。另外还观察到，栗山天牛幼虫活体采回实验室后部分个体在试管内蜕皮，这可能是由于饥饿引起的，这些因素给栗山天牛幼虫的龄数划分带来了一定的困难。用种群众数龄期法所测定的幼虫龄期可能与实际龄期有所差异，因为种群众数龄期法所估计的是 50% 数量的某龄幼虫进入下一龄时的日期(戴志一, 1980)。如果产卵时间拉得很长，将导致同一龄期幼虫出现的时间也较长，则该法估测出来的幼虫龄期较实际龄期更长。此外，虽然栗山天牛种群发育非常同步，导致了周期性发生，但也有极少数个体表现出了不一致，约滞后一年，从而证实了在其成虫非大发生年林间也能发现极少数成虫的现象。

由于栗山天牛在东北完成一个世代需要经历 3 次越冬休眠期，因此有些龄的龄期很长，这是因为将其越冬休眠停止发育的时间也统计在该龄期内所致。如本研究中的 2 龄、5 龄和 6 龄幼虫期特别长，主要是由于从当年 9 月到翌年 4 月份共约 8 个月(240 d 左右)属于生长发育停滞期。另外，也因为各龄幼虫的发育历期不同，导致了各龄幼虫的取样数量差异较大，特别是末龄幼虫发育时期很长，龄期长达 1 年多，因此在调查取样的过程中，最后 1 年多所测量的均为末龄幼虫，导致了在所有样本中末龄幼虫的数量明显多于其他各龄，这可能会导致末龄幼虫的分龄指标均值偏高。

参考文献(References)

Beijing Agricultural University, 1980. General Entomology. Agriculture Press, Beijing. 108 - 109. [北京农业大学, 1980. 昆虫学通论. 北京: 农业出版社. 108 - 109]

Cai WZ, Pang XF, Hua BZ, Liang GW, Song DL, 2011. General Entomology. 2nd ed. China Agricultural University Press, Beijing. 229 - 230. [彩万志, 庞雄飞, 花保祯, 梁广文, 宋敦伦, 2011. 普通昆虫学(第2版). 北京: 中国农业大学出版社. 229 - 230]

Cai YC, Huang PF, Han GS, Gao LX, 1999. Damage and management of *Massicus raddei*. *Forest Pest and Disease*, 18(2): 25 - 26. [蔡元才, 黄培发, 韩国昇, 高立新, 1999. 栗山天牛的危害与防治. 森林病虫通讯, 18(2): 25 - 26]

Calvo D, Molina JM, 2008. Head capsule width and instar determination for larvae of *Streblote panda* (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 101(5): 881 - 886.

Chen SX, Xie YZ, Deng GF, 1959. Economic Insect Fauna of China, Fasc. 1. Coleoptera: Cerambycidae. Science Press, Beijing. 43. [陈世骧, 谢蕴贞, 邓国藩, 1959. 中国经济昆虫志(第一册). 鞘翅目: 天牛科. 北京: 科学出版社. 43]

Chen ZX, Xu XS, 1997. Key to Exercises in SAS Program of

Biostatistics. Computer Centre, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing. 1 – 14, 38 – 43, 95 – 142. [陈子星, 徐夕水, 1997. 生物统计 SAS 程序题解. 北京：中国农业科学院计算中心. 1 – 14, 38 – 43, 95 – 142]

Dai ZY, 1980. Method for determination of population median stadia of insect larvae. *Entomological Knowledge*, 17(4): 185 – 187. [戴志一, 1980. 昆虫幼虫种群众数龄期的测定法. 昆虫知识, 17(4): 185 – 187]

Du BS, Liu CM, 1986. Determination of larval instars of *Anoplophora nobilis*. *Entomological Knowledge*, 23(1): 22 – 23. [杜宝善, 刘春梅, 1986. 黄斑星天牛幼虫龄数测定. 昆虫知识, 23 (1): 22 – 23]

Dyar HG, 1980. The number of molts of lepidopterous larvae. *Psyche*, 5 (175/176): 420 – 422.

El-Antry S, 1999. Biology and damage of *Cerambyx cerdo* var. *mirbecki* (Coleoptera, Cerambycidae) in the Mamora cork oak forest (Morocco). *Bulletin OILB/SROP*, 22(3): 59 – 64.

Fan LQ, 2008. Larval instars and duration of *Pristophora conjugata*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45 (1): 144 – 145. [范丽清, 2008. 杨黑点叶蜂幼虫龄数和龄期. 昆虫知识, 45(1): 144 – 145]

Forschler BT, Nordin GL, 1991. Instar determination in the cottonwood borer, *Plectrodera scalator* (Fab.) (Coleoptera: Cerambycidae). *Coleopterists Bulletin*, 45(2): 165 – 168.

Goldson SL, McNeill MR, Proffitt JR, Baird D, 2001. Seasonal variation in larval-instar head-capsule sizes of Argentine stem weevil, *Listronotus bonariensis* (Kuschel) (Coleoptera: Curculionidae). *Australian Journal of Entomology*, 40(4): 371 – 375.

Goodwin S, Pettit MA, 1994. *Acalolepta vastator* (Newman) (Coleoptera: Cerambycidae) infesting grapevines in the Hunter Valley, New South Wales. 2. Biology and ecology. *Journal of the Australian Entomological Society*, 33(4): 391 – 397.

He P, Huang JF, 1992. Laboratory rearing of *Anoplophora glabripennis*. *Journal of Beijing Forestry University*, 14(2): 61 – 67. [贺萍, 黄竞芳, 1992. 光肩星天牛的人工饲养. 北京林业大学学报, 14 (2): 61 – 67]

Hutchinson JMC, McNamara JM, Houston AI, Vollrath F, 1997. Dyar's rule and the investment principle: optimal moulting strategies if feeding rate is size-dependent and growth is discontinuous. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 352 (1349): 113 – 138.

Jaya S, Suresh T, Sobhitha-Rani RS, Sreekumar S, 2000. Evidence of seven larval instars in the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. reared on sugarcane. *Journal of Entomological Research*, 24(1): 27 – 31.

Ji CL, Hou Y, Gao C, 1995. Preliminary survey for the occurrence of *Massicus raddei*. *Journal of Liaoning Forestry Science and Technology*, 14(2): 40 – 41. [季长龙, 侯义, 高纯, 1995. 栗山天牛发生情况调查初报. 辽宁林业科技, 14(2): 40 – 41.]

Jiang SN, 1989. Cerambycid Larvae of China. Chongqing Publishing House, Chongqing. 91 – 92. [蒋书楠, 1989. 中国天牛幼虫. 重庆：重庆出版社. 91 – 92]

Keena MA, Moore PM, 2010. Effects of temperature on *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) larvae and pupae. *Environmental Entomology*, 39(4): 1323 – 1335.

Lai KP, Lu W, Liu DX, Luo ZR, Gao PY, 2008. The larval instars and stadia of the longhorn beetle *Glenea cantor*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(1): 138 – 140. [赖开平, 陆温, 刘德星, 骆峥嵘, 高鹏宇, 2008. 眉斑并脊天牛幼虫龄数及各龄特征. 昆虫知识, 45(1): 138 – 140]

Lee CY, Lo KC, 1998. Rearing of *Anoplophora macularia* (Thomson) (Coleoptera: Cerambycidae) on artificial diets. *Applied Entomology and Zoology*, 33(1): 105 – 109.

Li ML, Yuan W, Zhou JX, Xi ZC, Ren ZW, 1989. A preliminary study on population age distribution of larvae *Anoplophora nobilis*. *Journal of Northwestern College of Forestry*, 4(2): 89 – 92. [李孟楼, 袁伟, 周嘉熹, 席忠诚, 任增武, 1989. 黄斑星天牛幼虫年龄结构的初步研究. 西北林学院学报, 4(2): 89 – 92]

Liu BS, 1982. Biology of *Aromia bungii* and its control. *Journal of Chinese Fruit*, (2): 45 – 49. [刘彬声, 1982. 桃红颈天牛的生活习性及防治. 中国果树, (2): 45 – 49]

Loerch CR, Cameron EA, 1983. Determination of larval instars of the bronze birch borer, *Agrilus anxius* (Coleoptera: Buprestidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 76: 948 – 952.

McDonald G, Smith IR, Shelden GP, 1977. Identification of instars of *Culex annulirostris* Skuse (Diptera: Culicidae). *Journal of the Australian Entomological Society*, 16: 359 – 360.

Sáenz-de-Cabezón Irigaray FJ, Moreno F, Pérez-Moreno I, Vicente M, 2006. Larval growth and the effect of temperature on head capsule size in *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*, 35(2): 189 – 193.

Safranek L, Williams CM, 1984. Determinants of larval molt initiation in the tobacco hornworm, *Manduca sexta*. *The Biological Bulletin*, 167 (3): 568 – 578.

SAS Institute Inc., 2006. SAS OnlineDoc®. Version 9. 1. 3. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. http://support. sas. com/onlinedoc/913/docMainpage. jsp.

Seetharama HG, Vasudev V, Kumarp KV, Sreedharan K, 2005. Biology of coffee white stem borer *Xylotrechus quadripes* Chev. (Coleoptera: Cerambycidae). *Journal of Coffee Research*, 33(1/2): 98 – 107.

Sephton DH, Hynes HBN, 1982. The numbers of nymphal instars of several Australian Plecoptera. *Aquatic Insects*, 4(3): 153 – 166.

Shao JW, Meng FR, Cui ZR, 1991. Median population stadia determination for larvae of *Monochamus sutor*. *Entomological Knowledge*, 28(2): 97 – 100. [邵景文, 孟繁荣, 崔正日, 1991. 云杉小黑天牛幼虫种群众数龄期的测定. 昆虫知识, 28(2): 97 – 100]

Shintani Y, Ishikawa Y, Tatsuki S, 1996. Larval diapause in the yellow-spotted longicorn beetle, *Psacothea hilaris* (Pascoe) (Coleoptera: Cerambycidae). *Applied Entomology and Zoology*, 31 (4): 489 – 494.

Sontakke BK, 2002. Biology of the pointed gourd vine borer, *Apomecyna saltator* Fab. (Coleoptera: Cerambycidae) in Western Orissa. *Journal of Applied Zoological Researches*, 13(2/3): 197 – 198.

Sun YP, 2001. Control techniques of *Massicus raddei* (Blessig). Liaoning Science and Technology Publishing House, Shenyang. 10 -12.［孙永平, 2001. 栗山天牛防治技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社. 10 -12］

Tang YL, Yang ZQ, Wei JR, Wang XY, Wang XH, Wang W, 2010. Research progress on *Massicus raddei* Blessig (Coleoptera: Cerambycidae). *Forest Pest and Disease*, 29(3):12 -17.［唐艳龙, 杨忠岐, 魏建荣, 王小艺, 王晓红, 王伟, 2010. 栗山天牛研究进展. 中国森林病虫, 29(3): 12 -17］

Taylor RL, 1931. On "Dyar's Rule" and its application to sawfly larvae. *Annals of the Entomological Society of America*, 24(3): 451 -466.

Verdinelli M, Sanna-Passino G, 2003. Development and feeding efficiency of *Malacosoma neustrium* larvae reared with *Quercus* spp. leaves. *Annals of Applied Biology*, 143(2): 161 -167.

Visitpanich J, 1994. The biology and survival rate of the coffee stem borer, *Xylotrechus quadripes* Chevlorat (Coleoptera, Cerambycidae) in Northern Thailand. *Japanese Journal of Entomology*, 62(4): 731 -745.

Wang XY, Yang ZQ, Tang YL, Jiang J, Gao C, Liu YC, Zhang XW, 2010. Parasitism of *Sclerodermus pupariae* (Hymenoptera: Bethylidae) on the young larvae of *Massicus raddei* (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomologica Sinica*, 53(6): 675 - 682.［王小艺, 杨忠岐, 唐艳龙, 姜静, 高纯, 刘云程, 张显文, 2010. 白蜡吉丁肿腿蜂对栗山天牛低龄幼虫的寄生作用. 昆虫学报, 53(6): 675 -682］

Wang ZY, 1999. Damage of *Massicus raddei* to oak trees and its control strategies. *Journal of Liaoning Forestry Science and Technology*, 18(3): 32 -33.［王忠友, 1999. 栗山天牛对柞树类的危害及防治对策. 辽宁林业科技, 18(3): 32 -33］

Yang ZQ, Li ML, Lei Q, Wang XY, 2012. Effects of temperature on development and reproduction of *Dastarcus helophoroides* (Coleoptera: Bothrideridae). *Chinese Journal of Biological Control*, 28(1): 9 -14.［杨忠岐, 李孟楼, 雷琼, 王小艺, 2012. 温度对花绒寄甲发育和生殖的影响. 中国生物防治学报, 28(1): 9 -14］

Yoon HJ, Park IG, Mah YI, Seol KY, 1997. Larval development of mulberry longicorn beetle, *Apriona germari* Hope, on the artificial diet. *Korean Journal of Applied Entomology*, 36(4): 317 -322.

(责任编辑: 武晓颖)